

電機製品に用いられるエポキシ樹脂の疲労強度に関する破壊力学的研究

大本, 洋平

<https://doi.org/10.15017/1500722>

出版情報：九州大学, 2014, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

氏 名 : 大 本 洋 平

論 文 名 : 電機製品に用いられるエポキシ樹脂の疲労強度に関する破壊力学的研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

半導体パッケージやパワーモジュール、サーボモータなどを代表とする電機製品においては、電氣的絶縁および内部部品の機械的保護を目的としてエポキシ樹脂を用いた樹脂モールド構造が広く採用されている。これらの構造では、製品の起動・停止などに伴う温度変化に対してモールド樹脂と内部構造物との線膨張係数の不一致により熱応力が繰返し作用するため、モールド樹脂の疲労強度設計が要求される。小型化・高集積化の進む半導体製品など動作環境の過酷化が進む製品、あるいはモータや受配電機器といった大型製品または信頼性要求の厳しい車載部品を代表とする評価試験に長時間を要する製品に対しては、開発効率化の観点から合理的で効率のよい強度予測・設計手法が望まれている。

エポキシ樹脂の熱疲労を対象として強度予測・設計手法を構築していく上での課題として注目すべき点としてここでは次の 2 点を取り上げた。1 点目は、強度の温度依存性の取扱いである。エポキシ樹脂のような高分子材料の強度は一般に強い温度依存性を示すことから、内包される部品との線膨張係数差に起因して温度サイクル下のモールド樹脂は多くの場合、高温側で低応力かつ低強度、低温側で高応力かつ高強度のいわゆる逆位相型の熱疲労負荷となる。これに対し、過度に安全側となることなく合理的に強度の温度依存性を考慮できる強度予測法が求められている。2 点目はフィラーの影響である。通例、エポキシ樹脂は内包する部品との線膨張係数差の低減を主目的として、セラミック粒子などをフィラーとして混在させて使用する。疲労き裂の伝ばを考えたときに、フィラーはエポキシ樹脂の変形あるいは樹脂中の疲労き裂伝ばを抑制する材料強化機構としての作用が期待される一方で、フィラーは応力集中部であることを考慮すると、疲労き裂発生源となり材料の疲労強度を低下させる作用を有する懸念があるので、両者を正しく把握する必要がある。特に、疲労き裂発生源となる場合には発生後も伝ばせず停留する、いわゆる疲労限度の有無が工学上重要である。本論文の内容は上記 2 点に着目し、エポキシ樹脂の疲労強度特性を明らかにすることを目的に行った研究である。

第 1 章は、電機製品の使用環境の過酷化および設計効率化への強い要求を背景として、エポキシ樹脂の疲労設計における課題を述べた。

第 2 章は、疲労き裂伝ば特性に及ぼす温度の影響について着目し、逆位相型の熱疲労き裂伝ば特性に対する評価手法を検討した内容である。有効応力拡大係数範囲 ΔK_{eff} をヤング率 E で除した有効ひずみ拡大係数 $\Delta K_{eff}/E$ をパラメータとすることで、一定温度下のき裂伝ば速度は種々の温度について一面的に評価可能であることを示した。この結果を逆位相型の熱疲労の場合に拡張して、温度サイクル中のひずみ拡大係数範囲 $\Delta(K/E)$ をパラメータとして熱疲労におけるき裂伝ば特性を推定する手法を提案し、さらに逆位相型の熱疲労き裂伝ば試験を実際に行い検証した結果、それが有効であるという知見を得た。同時に、強度パラメータの考察を通じて粘性ひずみは疲労伝ばへの寄与

は小さく、弾性ひずみ成分を精度よく把握することが誤差低減に有効であるとの知見を得た。

第3章は、エポキシ樹脂中のフィラーがエポキシ母材の疲労強度に及ぼす影響について調査した内容である。フィラーが疲労き裂発生源として作用する、すなわちフィラー周りの応力集中部から疲労き裂が発生するケースを想定して、収束イオンビーム加工によって設けた微小な鋭い切欠きからのき裂発生、伝ぱに注目し、疲労限度の有無および疲労き裂停留現象の有無を調べた。その結果、表面での長さ $100\mu\text{m}$ の切欠きを起点として発生した疲労き裂は 10^7 回を超えてほぼ伝ぱを停止することが観察された。したがって、エポキシ樹脂においても鉄鋼材と類似の疲労き裂停留による疲労限度を有するという新しい知見を得た。

第4章は、総括であり各章で得られた結果を要約して述べた。

〔作成要領〕

1. 用紙はA4判上質紙を使用すること。
2. 原則として、文字サイズ10.5ポイントとする。
3. 左右2センチ，上下2.5センチ程度をあげ，ページ数は記入しないこと。
4. 要旨は2,000字程度にまとめること。
(英文の場合は，2ページ以内にまとめること。)

5. 図表・図式等は随意に使用のこと。
6. ワードプロ浄書すること（手書きする場合は楷書体）。

この様式で提出された書類は，「九州大学博士学位論文内容の要旨及び審査結果の要旨」の原稿として写真印刷するので，鮮明な原稿をクリップ止めで提出すること。